



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 103 08 174.7

**Anmeldetag:** 24. Februar 2003

**Anmelder/Inhaber:** XTREME technologies GmbH, Jena/DE

**Bezeichnung:** Anordnung zur Debrisreduktion bei einer Strahlungsquelle auf Basis eines Plasmas

**IPC:** H 05 G, G 21 K, G 03 F

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 20. November 2003  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

A handwritten signature in black ink, likely belonging to the President of the German Patent and Trademark Office.

Stark

## Anordnung zur Debrisreduktion bei einer Strahlungsquelle auf Basis eines Plasmas

Die Erfindung betrifft eine Anordnung zur Debrisreduktion bei einer Strahlungsquelle auf Basis eines Plasmas, insbesondere zur Erzeugung gebündelter Strahlung im  
5 extrem ultravioletten (EUV-) Spektralbereich. Die Erfindung findet vorzugsweise Anwendung in der Halbleiter-Lithographie zur Belichtung kleinster Strukturen auf Halbleiterchips.

Quellen extrem ultravioletter (EUV-) Strahlung bzw. weicher Röntgenstrahlung  
10 werden dringend als Strahlungsquellen für die nächste Generation von Belichtungsmaschinen in der Halbleiter-Lithographie benötigt. Mit einer Strahlung um 13,5 nm sollen die Strukturbreiten integrierter Schaltkreise auf eine Breite zwischen 25 ... 50 nm abgesenkt werden.

Da die Strahlung für den gewünschten Wellenlängenbereich aus einem heißen  
15 Plasma erzeugt wird, emittiert eine EUV-Strahlungsquelle neben der eigentlichen Strahlung auch Neutralteilchen und elektrisch geladene Teilchen mit kinetischen Energien bis in den keV-Bereich. Die Gesamtheit dieser Teilchenemission wird als Debris bezeichnet. Das Debris bewirkt eine Reduktion des Reflexionsvermögens einer dem Quellort (Plasma) nachgeordneten Kollektroptik durch Abtrag der  
20 reflektierenden Schicht (wesentlicher Effekt) oder durch Belegung dieser Schicht mit Partikeln, die die EUV-Strahlung absorbieren. Das Debris limitiert die Lebensdauer der Kollektroptik. Die Lebensdauer der Kollektroptik wird angegeben als Anzahl der EUV-Strahlungsimpulse, nach denen das Reflexionsvermögen der Kollektroptik um 10 % abgefallen ist. Die Hersteller von Scannern für den Halbleiter-  
25 Lithographieprozess fordern für einen Produktionsscanner eine Optiklebensdauer von mehr als  $10^{11}$  „Schuss“ (Strahlungsimpulsen).

Zur Debrisreduktion und somit zum Schutz der Kollektroptik vor zu schneller Alterung durch die oben genannten Prozesse sind verschiedene Debrisfilter,  
30 sogenannte Debris Mitigation Tools (DMT), bekannt geworden.

So werden in US 6,359,969 verschiedene wabenförmige Anordnungen aus metallischen Blechen beschrieben, wobei diese Bleche verschiedene geeignete Formen haben können. In die einzelnen Waben werden Gase (z.B. Argon)

genügenden Druckes eingeströmt. Das Gas bewirkt eine starke Abbremsung der Debristeilchen bis deren kinetische Energie  $< kT$  ist und als Folge die Partikel an der Wabenstruktur leicht adsorbiert werden.

In verschiedenen anderen Anordnungen (z.B. DE 102 15 469.4 oder US 6,377,651) kommen elektrische und/oder magnetische Felder zur Ablenkung von geladenen Teilchen zum Einsatz.

Weiterhin sind – wie z.B. von Yamamoto et al. in: Proc. of SPIE Vol. 4146 (2000) 128 offenbart – schnelle Verschlüsse (Shutter) bekannt geworden, die nach jedem Strahlungsimpuls den Strahlengang schnell verschließen und dadurch die langsameren Partikel blockieren. Diese Verschlüsse versagen jedoch bei den geforderten Impulsfolgefrequenzen von mehreren Kilohertz.

Es existieren ferner Vorschläge, bei denen ein Debrisfilter, wie z.B. auch aus US 6,359,969 bekannt, mit EUV-transparenten Folien kombiniert werden, um eine vollständige Ausfilterung von Debris zu erreichen. Bei diesen Folien besteht aber ein erhebliches Risiko der Zerstörung durch besonders energiereiche Teilchen. Die Zerstörung der Folie hat insbesondere bei EUV-Quellen mit hohen mittleren Leistungen eine sehr hohe Wahrscheinlichkeit und würde – weil nicht präventiv einschätzbar – eine plötzliche und rapide Verschlechterung der Abbildungsbedingungen bedeuten.

20

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine neue Möglichkeit zur Debrisreduktion bei einer Strahlungsquelle auf Basis eines Plasmas, insbesondere zur Erzeugung gebündelter Strahlung im extrem ultravioletten (EUV-) Spektralbereich zu finden, die die Lebensdauer der Kollektoroptik erheblich verlängert, ohne eine wesentliche Transparenzminderung oder eine plötzliche Zerstörbarkeit des Schutzmechanismus hinnehmen zu müssen.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe bei einer Anordnung zur Debrisreduktion bei einer Strahlungsquelle auf Basis eines Plasmas, bei der zwischen dem strahlungserzeugenden Plasma als Quellort und einer Kollektoroptik ein Debrisfilter angeordnet ist, dadurch gelöst, dass eine austauschbare Zusatzoptik im Strahlungsweg zwischen dem Debrisfilter und der Kollektoroptik angeordnet ist, wobei über die Zusatzoptik eine abstandserhöhende Zwischenabbildung des

Quellortes (Plasma) gegenüber der Kollektoroptyk zur weiteren Debrisreduktion vorgesehen ist.

Der wesentliche Effekt der Zusatzoptik besteht darin, dass nur die Zusatzoptik vom  
 5 Restdebris hinter dem Debrisfilter geschädigt wird und bei allgemein strahlformender Funktion die Aufgabe eines wechselbaren Zusatzfilters übernimmt, das die Lebensdauer der wesentlich teureren Kollektoroptyk erheblich verlängert.

Vorteilhaft ist die Zusatzoptik eine Reflexionsoptik, deren reflektierende Oberflächen  
 10 vorzugsweise zur Reflexion bei streifendem Einfall der Strahlung ausgelegt sind.

Zweckmäßig sind die reflektierenden Oberflächen der Zusatzoptik als gekrümmte Rotationsflächen geformt. Diese Rotationsflächen können die Form von Rotationsellipsoiden, -paraboloiden oder -hyperboloiden aufweisen.

Die Zusatzoptik kann aber auch aus einer Kombination von unterschiedlich  
 15 gekrümmten Rotationsflächen zusammengesetzt sein.

Zur Erhöhung ihrer Beständigkeit gegen die energiereiche Strahlung aus dem Plasma bestehen die reflektierenden Oberflächen zweckmäßig aus einem im EUV-Bereich hochreflektierenden Metall.

Die Elemente der Zusatzoptik können dabei zweckmäßig aus hochreflektierendem  
 20 metallischem Grundmaterial bestehen, in das die reflektierenden Oberflächen eingearbeitet oder abgeformt sind. Andererseits kann die Zusatzoptik aber auch reflektierende Oberflächen aufweisen, die nur mit einer hochreflektierenden metallischen Schicht überzogen sind. Dabei enthalten zumindest die reflektierenden Oberflächen der Zusatzoptik vorteilhaft wenigstens eines der Metalle Molybdän,

25 Rhodium oder Palladium, um neben dem hohen Reflexionsvermögen eine ausreichende Beständigkeit gegen die energiereiche Strahlung zu erreichen.

Mit der erfindungsgemäßen Lösung ist es möglich, eine Anordnung zur Debrisreduktion bei einer Strahlungsquelle auf Basis eines Plasmas, insbesondere zur  
 30 Erzeugung gebündelter Strahlung im extrem ultravioletten (EUV-) Spektralbereich zu realisieren, die die Lebensdauer der Kollektoroptyk wesentlich erhöht, indem eine Zusatzoptik als zwischenabbildende, preiswerte Hilfsoptik eingesetzt wird, die vom Debrisfilter durchgelassenen Restteilchen der Debris durch Abstandsvergrößerung und zusätzlich Adhäsionsflächen vor der Kollektoroptyk abfängt.

Die Erfindung soll nachstehend anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert werden. Die Zeichnungen zeigen:

- 5 Fig. 1: den Prinzipaufbau der erfindungsgemäßen Anordnung vom Strahlung emittierenden Plasma bis zur Kollektoroptik,

- 10 Fig. 2a-c: drei Halbschnittzeichnungen einer Gestaltung der Zusatzoptik mit reflektierender Oberfläche in Form eines Rotationsellipsoids, bei denen in Abhängigkeit von der Lage und Ausdehnung des Plasmas und somit vom Einfallswinkel auf die reflektierende Oberfläche unterschiedliche Zwischenabbildungen erzeugt werden,

- 15 Fig. 3: eine Halbschnittzeichnung einer Gestaltung der Zusatzoptik mit reflektierenden Oberflächen in Form von Paraboloiden,

- Fig. 4: eine bevorzugte Variante der Zusatzoptik mit einer Kombination von unterschiedlich gekrümmten Rotationsflächen (Hyperboloid und Ellipsoid).

- 20 Die erfindungsgemäße Anordnung besteht in ihrem Grundaufbau – wie in Fig. 1 schematisch dargestellt – aus einem die gewünschte Strahlung emittierenden Plasma 1, einem an sich bekannten und beliebig wählbaren Debrisfilter 2, einer austauschbaren Zusatzoptik 3 und einer Kollektoroptik 4.

- 25 Die Zusatzoptik 3 ist eine einfache abbildende Optik, die eine Zwischenabbildung der Quelle, d.h. des Plasmas 1, erzeugt. Diese Abbildung, die in einem Zwischenbild 41 auf der optischen Achse 42 der Kollektoroptik 4 resultiert, wird als neuer Quellpunkt für die komplizierte und vergleichsweise teure Kollektoroptik 4 verwendet. Der Vorteil besteht darin, dass lediglich die Zusatzoptik 3 vom Restdebris, das vom  
30 herkömmlichen Debrisfilter 2 nicht abgefangen wurde, geschädigt wird, während die eigentliche Kollektoroptik 4 nur noch die gewünschte EUV-Strahlung „sieht“.

Die Zusatzoptik 3 kann bei Erreichen eines definierten Grades der Reduktion ihres Reflexionsvermögens infolge der Aufnahme des Restdebris leicht ausgetauscht werden, wodurch die Lebensdauer der Kollektoroptik 4 praktisch nicht mehr durch

die Reduktion ihres Reflexionsvermögens infolge Debris aus dem Plasma 1 begrenzt ist.

Die Zusatzoptik 3 ist so ausgeführt, dass die Reflexion bei streifendem Einfall erfolgt und deren reflektierenden Oberflächen 33 bzw. 34, 35 oder 36, 37 (nur in den  
 5 Figuren 2, 3 und 4 gezeigt), aus einem Material, das gut im gewünschten EUV-Spektralbereich reflektiert (z.B. Molybdän, Rhodium, Palladium o.ä.), gefertigt sind.

Um den streifenden Einfall der Strahlung aus dem Plasma 1 effektiv zu realisieren, weist die Zusatzoptik 3 reflektierende Oberflächen in Form von Rotationsflächen um  
 10 die optische Achse 42 auf. Dafür sind verschiedene Ausführungsformen der Zusatzoptik 3 geeignet, die für unterschiedliche Qualitätsmerkmale der Zwischenabbildung sorgen. Es sind ein oder mehrteilige Rotationsellipsoide 33, mehrteilige Paraboloiden 34, 35 oder Hyperboloide 36 aber auch Kombinationen aus den vorgenannten Rotationsflächen mit unterschiedlicher Krümmung sinnvoll  
 15 einsetzbar.

In den Fig. 2a bis 2c ist eine Ausführung der Zusatzoptik 3 dargestellt, bei der die reflektierende Oberfläche dem mittleren Teil eines Rotationsellipsoids 33 entspricht.

20 Fig. 2a zeigt in einem ersten Brennpunkt 31 des Rotationsellipsoids 33 das Plasma 1 und im zweiten Brennpunkt 32 das Abbild des Plasmas 1 als Zwischenbild 41. Bei dieser Anordnung, bei der das Debrisfilter 2 aus Gründen einer übersichtlicheren Darstellung der Zusatzoptik 3 weggelassen wurde, wird als Quellpunkt der EUV-Strahlung für die Kollektoroptik 4 ein Zwischenbild 41 erzeugt, das kein exaktes  
 25 Abbild des Plasmas 1 darstellt bzw. dies nur näherungsweise für kleine Öffnungswinkel oder für einen kleinen Winkelbereich erfüllt. Das hängt damit zusammen, dass bei der Reflexion an der Innenfläche des Rotationsellipsoids 33 die Lage des Zwischenbildes 41 entlang der optischen Achse 42 variiert und zwar abhängig vom Reflexionswinkel an der reflektierenden Oberfläche 33, weil der  
 30 Quellort nicht exakt punktförmig im Brennpunkt 31 des Ellipsoids 33 liegt.

Beschränkt werden kann dieser Effekt dadurch, dass die emittierte EUV-Strahlung des Plasmas 1 regelmäßig nur durch eine relativ kleine Austrittsöffnung 11 einer für die Plasmaerzeugung vorhandenen Vakuumkammer (nicht gezeigt) austreten kann.

Eine exakte Abbildung des Plasmas 1 mittels Ellipsoiden als Zusatzoptik 3 kann aber erreicht werden, indem das Rotationsellipsoid 33 aus zwei Ellipsenflächen (mit Knicklinie) zusammengesetzt wird. Eine solche Lösung wäre in Analogie zu der in Fig.

5 4 gezeigten Kombination von verschiedenen Rotationsflächen auszuführen.

Die Abbildungen 2b und 2c zeigen eine vorteilhafte Ausnutzung des oben genannten Nachteils einer einfachen Ellipsoidfläche, bei der man die Ausdehnung des Zwischenbildes 41 in Richtung der optischen Achse 42 nutzt. Durch Verschiebung des  
10 Quellortes (Plasmas 1) relativ zum Brennpunkt 31 des Ellipsoids 33 lässt sich nämlich die Ausdehnung des Abbildes des Plasmas 1 in gewissen Grenzen ändern. Das ist für einige Anwendungen von Vorteil, bei denen eine Verlängerung des Quellortes (hier: Zwischenbild 41 als fiktiver Quellort) entlang der optischen Achse 42 gewünscht wird.

15

In Fig. 2b wird die Abbildungssituation für eine Verschiebung des Rotationsellipsoids 33 um -5 mm gegenüber dem Plasma 1 gezeigt, während Fig. 2c die Verschiebung des Brennpunktes 31 gegenüber dem Plasma 1 um +5 mm darstellt. Bei letzterer Ausführung ergibt sich nahezu dieselbe Form (Ausdehnung) des Zwischenbildes 41  
20 wie in Fig. 2b, jedoch verschiebt sich dessen Schwerpunkt zu positiven Werten auf der optischen Achse 42.

In der Ausführungsvariante von Fig. 3 wird die Zusatzoptik 3 durch Rotationsparaboloide gebildet. Die Zusatzoptik 3 ist in diesem Falle zweiteilig und besteht aus  
25 zwei Paraboloidspiegeln 34 und 35. Diese erzeugen ein nahezu exaktes Abbild des Plasmas 1, da die Abbildung winkelnunabhängig ist. Die Zweiteiligkeit ergibt einen weiteren Vorteil für die Funktion der Zusatzoptik 3 als ergänzendes Debrisfilter, weil jeder Paraboloidspiegel 34 bzw. 35 für sich einzeln als Austauschelement nach einer bestimmten Betriebsdauer geeignet ist, wobei der quellnächste Paraboloidspiegel 34  
30 entsprechend häufiger ausgetauscht werden kann.

In einer weiteren Variante gemäß Fig. 4 ist die Zusatzoptik 3 aus zwei unterschiedlich gekrümmten Rotationsflächen zusammengesetzt. Die erste Fläche ist ein Hyperboloidspiegel 36 und die zweite Fläche ist ein Ellipsoidspiegel 37. Beide Flächen

berühren sich in einer sogenannten Knickebene und ermöglichen eine exakte optische Abbildung des Plasmas 1 in die Ebene des Zwischenbildes 41, die die Gegenstandsebene für die Kollektroptik 4 darstellt.

5 Eine solche Kombination von einander berührenden Rotationsspiegelflächen, die auch zwei Rotationsellipsoide 33 oder Kombinationen mit Paraboloiden 34 sein können, ermöglicht gegenüber der Darstellung von Fig. 3 eine effektivere Bündelung der vom Plasma 1 aus der (nur in Fig. 2 dargestellten) Austrittsöffnung 11 divergent austretenden EUV-Strahlung. Sie lässt aber genauso wie die Variante von Fig. 3 den Austausch von Hyperboloidspiegel 36 und Ellipsoidspiegel 37 separat und  
10 unabhängig voneinander zu.

Es tritt also auch hier der Vorteil ein, dass der Ellipsoidspiegel 37 bereits weniger häufig getauscht werden muss als der Hyperboloidspiegel 36 und die Kollektroptik 4 praktisch fast unbegrenzt einsatzfähig bleibt.

15

## Bezugszeichenliste

	1	Plasma
	11	Austrittsöffnung
5	2	Debrisfilter
	3	Zusatzoptik
	31, 32	Brennpunkte
10	33	Rotationsellipsoid
	34, 35	Paraboloidspiegel (Rotationsparaboloide)
	36	Hyperboloidspiegel
	37	Ellipsoidspiegel
15	4	Kollektoroptik
	41	Zwischenbild
	42	optische Achse

## Patentansprüche

1. Anordnung zur Debrisreduktion bei einer Strahlungsquelle auf Basis eines Plasmas, bei der zwischen dem strahlungserzeugenden Plasma als Quellort und einer Kollektoroptik ein Debrisfilter angeordnet ist, dadurch gekennzeichnet, dass eine austauschbare Zusatzoptik (3) im Strahlungsweg zwischen dem Debrisfilter (2) und der Kollektoroptik (4) angeordnet ist, wobei über die Zusatzoptik (3) eine abstandserhöhende Zwischenabbildung des Quellortes gegenüber der Kollektoroptik (4) zur weiteren Debrisreduktion vorgesehen ist.
2. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Zusatzoptik (3) eine Reflexionsoptik ist.
3. Anordnung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Zusatzoptik (3) reflektierende Oberflächen (33; 34, 35; 36, 37) zur Reflexion in streifendem Einfall aufweist.
4. Anordnung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die reflektierenden Oberflächen (33; 34, 35; 36, 37) der Zusatzoptik (3) als gekrümmte Rotationsflächen geformt sind.
5. Anordnung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die reflektierende Oberfläche die Form eines Rotationsellipsoids (33; 37) aufweist.
6. Anordnung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die reflektierende Oberfläche die Form eines Rotationsparaboloids (34, 35) aufweist.
7. Anordnung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die reflektierende Oberfläche die Form eines Hyperboloids (36) aufweist.

8. Anordnung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Zusatzoptik aus einer Kombination von mehreren reflektierenden Oberflächen mit unterschiedlich gekrümmten Rotationsflächen (33, 34, 35, 36, 37) zusammengesetzt ist.

5

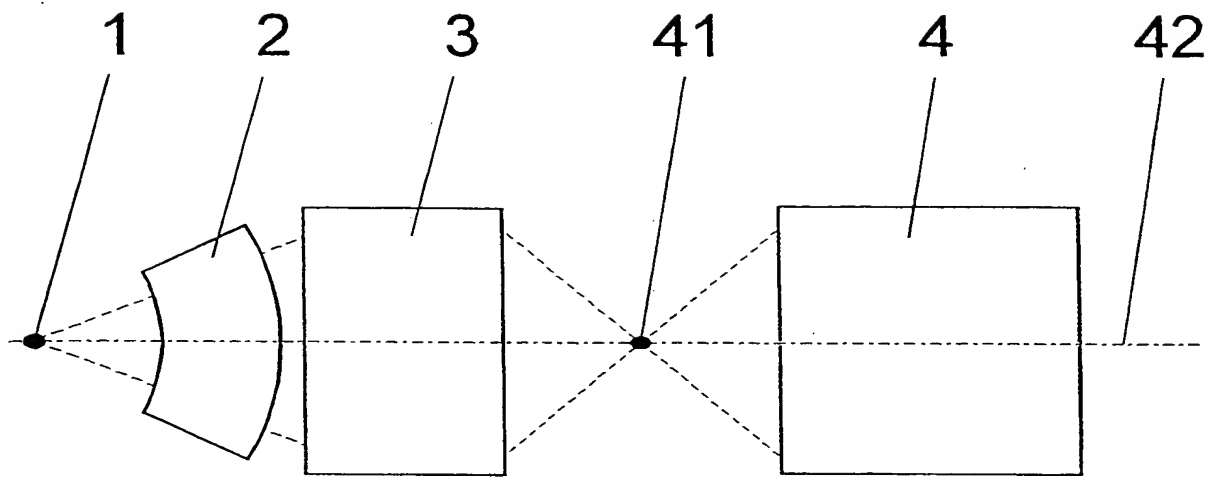
9. Anordnung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die reflektierenden Oberflächen (33, 34, 35, 36, 37) der Zusatzoptik (3) aus einem im EUV-Bereich hochreflektierenden Metall bestehen.

- 10 10. Anordnung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die reflektierenden Oberflächen (33, 34, 35, 36, 37) der Zusatzoptik (3) in hochreflektierendes metallisches Grundmaterial eingearbeitet sind.

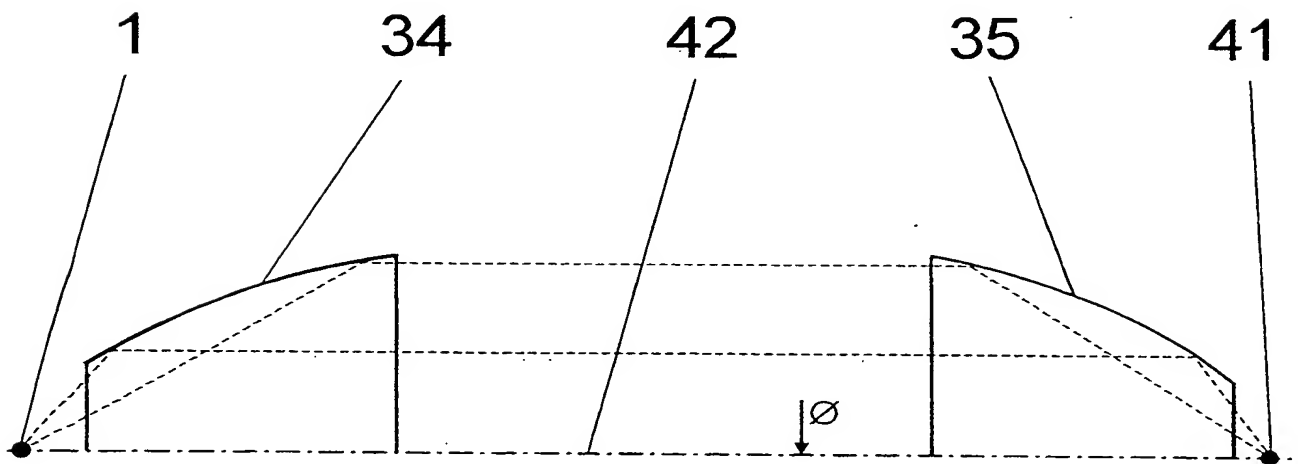
- 11 11. Anordnung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass  
15 die reflektierenden Oberflächen (33, 34, 35, 36, 37) der Zusatzoptik (3) mit einer hochreflektierenden metallischen Schicht überzogen sind.

- 12 12. Anordnung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass  
20 die reflektierenden Oberflächen (33, 34, 35, 36, 37) der Zusatzoptik (3) mindestens eines der Metalle Molybdän, Rhodium oder Palladium enthalten.

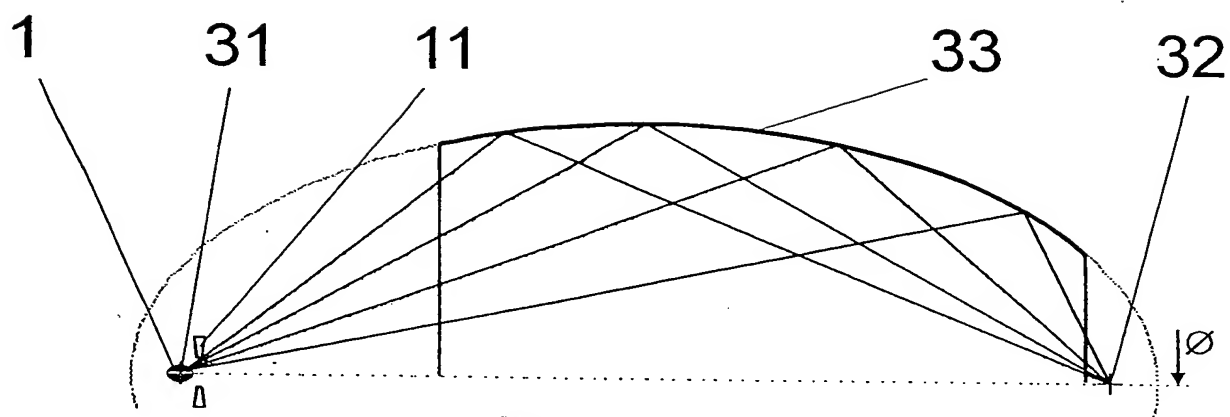
– Hierzu 3 Seiten Zeichnungen –



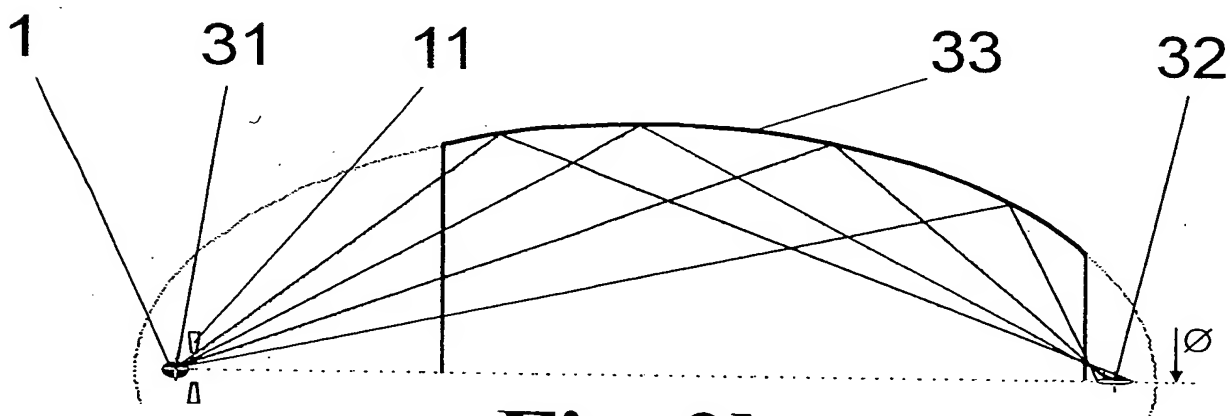
**Fig. 1**



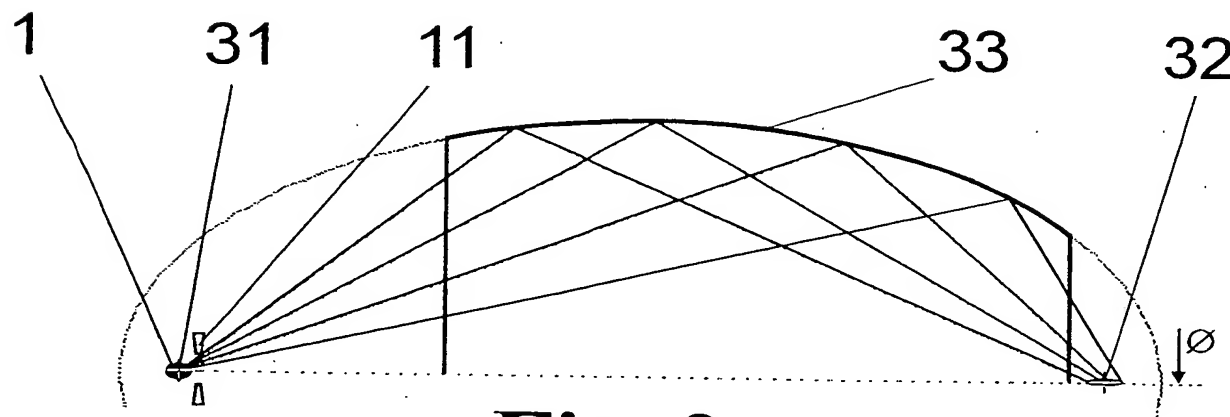
**Fig. 3**



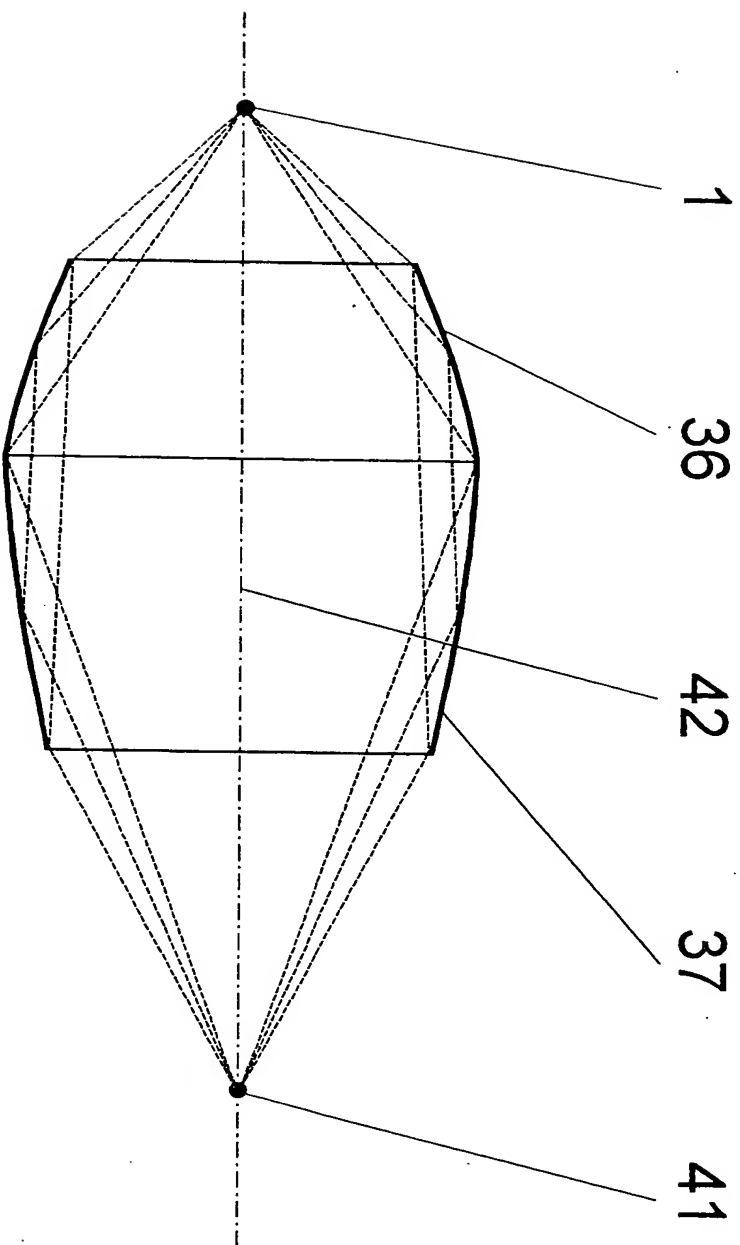
**Fig. 2a**



**Fig. 2b**



**Fig. 2c**



**Fig. 4**

## Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft eine Anordnung zur Debrisreduktion bei einer Strahlungsquelle auf Basis eines Plasmas, insbesondere zur Erzeugung gebündelter Strahlung im  
5 extrem ultravioletten (EUV-) Spektralbereich.

Die Aufgabe, eine neue Möglichkeit zur Strahlformung und Debrisreduktion bei einer Strahlungsquelle auf Basis eines Plasmas (1), insbesondere zur Erzeugung gebündelter kurzwelliger Strahlung zu finden, die die Lebensdauer einer Kollektroptik (4) wesentlich erhöht, ohne eine wesentliche Transparenzminderung oder eine plötzliche  
10 Zerstörbarkeit des Schutzmechanismus hinnehmen zu müssen, wird erfindungsgemäß gelöst, indem eine austauschbare Zusatzoptik (3) im Strahlungsweg zwischen einem herkömmlichen Debrisfilter (2) und der Kollektroptik (4) angeordnet ist, wobei über die Zusatzoptik (3) eine abstandserhöhende Zwischenabbildung des Quellortes gegenüber der Kollektroptik (4) zur weiteren Debrisreduktion vorgesehen  
15 ist.

– Fig. 1 –

